Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir
Vol. 13, No. 2, December 2022, p. 91-103
Original Research; DOI:

پژوهش‌هاي حبوبات ايران
سال(دوره)13 شمارة2، نيمة دوّم 1401
صفحة 103-91، نوع مقاله: پژوهشی

بررسی پارامترهای فتوسنتزي و عملکردی و ارتباط بین آن‌ها در ژنوتیپ‌های عدس در شرایط دیم

سیده سودابه شبیری، علی‌اکبر اسدی[*] و محمود عظیمی
1- استادیاران بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزي و منابع طبیعي استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزي، زنجان، ایران
(به‌ترتیب asadipm@gmail.com ، s.shobeiri@yahoo.com و mahmoud.azimiir@gmail.com)

تاریخ‌ها:
دریافت: 30/06/1400، **بازنگری:** 29/05/1401، **پذیرش:** 05/06/1401؛ **انتشار آنلاین مقاله:** 01/10/1401

نحوه ارجاع به مقاله:
شبیری، س.س.، اسدی، ع.ا.، و عظیمی، م. 1401. بررسی پارامترهای فتوسنتزي و عملکردی و ارتباط بین آن‌ها در ژنوتیپ‌های عدس در شرایط دیم. پژوهش‌هاي حبوبات ایران 13(2): 103-91.

چکیده
به‌منظور بررسی پارامترهای فتوسنتزي و عملکردی گیاه عـدس در شـرایط دیم، لاین-های منتخب عدس به همراه ارقـام شـاهد در قـالب طـرح بلـوک‌هـای کامل تصـادفی با سه تکـرار در ایسـتگاه تحقیقـات دیم خدابنـده اسـتان زنجـان در دو فصل زراعی 98-1397 و 99-1398 مورد بررسی قرار گرفتنـد. نتـایج نشـان داد که تفـاوت معنـی‌داری در صـفات تابش فعـال فتوسـنتزی، دمـای بـرگ، کـارآیی مصـرف آب فتوسـنتزي، هـدایت مـزوفیلی، کـارایی مصـرف آب، وزن100دانه و عملکـرد بین دو سـال اجـرای آزمـایش وجـود دارد. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در صفات دمای برگ، میزان فتوسنتز، ارتفاع گیاه، وزن100دانه و عملکرد اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان دادند که حاکی از تنـوع بـالاي ژنـتیکی این ژنوتیپ‌ها از لحاظ این صفات بود. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ژنوتیپ G5، ژنوتیپی با ویژگی‌های برتر زراعی بود که جهت معرفی به عنـوان رقـم با پتانسـیل عملکـرد بـالا قابل بررسی می‌باشـد. مـیزان فتوسـنتز با دمـای بـرگ همبسـتگی منفی معنـی‌دار و با صـفات مـیزان تعـرق، هـدایت روزنه‌ای، هـدایت مـزوفیلی، کـارآیی مصـرف آب و وزن100دانه همبستگی مثبت معنی‌دار نشـان داد. در نهـایت، تجزیه رگرسـیون نشـان داد که دو صـفت هدایت روزنه‌ای و غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای تبیین‌کننده تغییرات میزان فتوسنتز بودند.

واژه‌هـای کلیـدی: تجزیه رگرسـیون؛ تعـرق؛ فتوسـنتز؛ هـدایت روزنه‌ای؛ هـدایت مزوفیلی

مقدمه
در میـان گیاهـان زراعي منـاطق خشك و نیمه‌خشک، عدس (*Lens culinaris* Medik.) ازجمله گیاهـــاني است که غالبـــاً در اراضي حاشـیه‌ای و در خاک‌هـای نه‌چنـدان حاصـلخیز کشت می‌شـود. کشت این گیـاه در کشـورهاي درحال‌توسعه تقریباً یک‌چهـارم نیـاز پروتـئین را تـأمین می‌کند و با دارابـودن حـدود 28درصد پروتـــئین نقش مهمي را در تغذیه مـــردم این نـواحي ایفا می‌کنـد. این گیـاه همچـنین قـادر است که از طریق تثبیت نیتروژن، باعث بهبـود حاصـــلخیزي خـــاك شـــده و درنتیجه مـــیزان اســتفاده از کــود شــیمیایي را کــاهش دهد (Singh & Saxena, 1993).

با توجه به توسعه کشت و تولید حبوبـات و اهمیت بررسی‌های ژنـتیکی در اصـلاح گیاهـان، شناسـایی پتانسـیل ژنـتیکی این گیاهـان داراي اهمیت بسیار زیـادي است (Nouri Gorghari *et al.*, 2015). از آنجا که ایران یکی از مراکز تنـوع عـدس در جهـان بـوده است، پیش‌بیـنی می‌شود که تنوع زیادي در بین توده‌هـای بـومی این گیاه یافت شود (Saman *et al.*, 2012). داشتن اطلاعات در مورد تنوع ژنتیکی و روابط بین ژنوتیپ‌ها بـراي درك تغییرپـذیري ژنـتیکی قابل‌دســترس و پتانســیل اســتفاده از آن در برنامه‌های اصلاحی مهم است (Fikiru *et al.*, 2010). بیشتربودن تنوع، احتمال یافتن ژن‌ها یا ترکیبات ژنتیکی موردنظر اصلاحگر را بالا بـرده و با افـــزایش تنـــوع ژنـــتیکی در یک جامعه محدوده انتخاب در گزینش طبیعی و مصـنوعی وسیع‌تر می‌شـود (Nouri Gorghari *et al.*, 2015). مهم‌تـرین معیـار بـراي شناسـایی و انتخـاب ژنوتیپ‌هـای برتر ارزیـابی ویژگی‌هـای مورفولـــوژیکی و بررسی اجـــزای عملکـــرد می‌باشد (Ghahghaei *et al.*, 2010; Zahedi *et al.*, 2016). صـفات تعـداد بوته در واحد سطح، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه از اجـزای اصـلی عملکـرد عـدس

[*1] **نویسنده مسئول:** asadipm@gmail.com

محسـوب می‌شـوند (Ghahghaei et al., 2010). با توجه به مطالعات گذشته که بر روي عـدس انجـام گرفتـه، مشـخص شد که بهبـود پتانسیل عملکـرد در واحد سـطح می‌تواند یکی از معیارهـاي مهم در افـزایش تولید این گیـاه باشد.(Zahedi et al., 2016) افزایش عملکرد در واحد سطح عمدتاً از طریق اصـلاح و ایجـاد ارقام پرمحصول، بهبود خصوصـیات و افـزایش پتانسیل‌های کمی و کیفی امکان‌پذیر می‌باشد (Fakheri & Mohammadpour, 2016). در منـاطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل مـیزان کم بارندگی و توزیع نامناسب بارندگی، پراکنش آن از سالی به سال دیگر متغیر بوده و تحت چنین شـرایطی عملکـرد دانه در سـال‌های متـوالی نوسانات فراوانی نشان می‌دهد. به همین دلیل اصلاح ارقـام از طریق انتخـاب بـراي عملکـرد دانـه، به علت وراثت‌پـذیری پـایین و اثر متقابل ژنـوتیپ × محیط بـالا، چنـدان موفقیت‌آمـیز نیست (Richards et al., 2001).

فتوسنتز مهم‌تـرین فرایند گیـاهی است که نقش بسزایی در تثبیت کربن و تولید مـواد آلی در گیاهان دارد (Bishop & Boghbe, 1998). حسـاس‌ترین شـاخص بـراي بررسی وضـعیت فیزیولوژیکی گیاه، بررسی رفتار روزنه‌هاسـت. واکنش برگ‌ها به‌عنـــوان انـــدام اصـــلی فتوسنتزکننده با توجه به دماي هوا، دماي برگ، رطوبت نسبی هوا و سایر ویژگی‌هـای محیطی متفـاوت اسـت. حفظ و نگهـداري سـرعت طـبیعی تبـادلات گـازي از جمله ویژگی‌هـایی است که بـاعث افـزایش رشد و عملکـرد می‌شود. روزنه‌ها مدخل اصلی گیاه هسـتند و شـکاف روزنه‌ها نقش مهمی را در کنـترل تبادلات گـازي، تعـرق و فتوسـنتز ایفا می‌کنند (Anyia & Herzogh, 2004). بسـتن روزنه‌ها مـوجب کـاهش همزمـان فتوسـنتز و هـدایت روزنه‌ای می‌شـود. روزنه‌ها مـیزان کـارآیی مصرف آب و در نهایت ظرفیت عملکـرد را در فرایند فتوسـنتزي تحت تـأثیر قـرار می‌دهنـد. انـدازه روزنه‌ها عمومـاً در واکنش به عوامل محیطی و درونی تحت تـأثیر قـرار گرفته و درنتیجه مقـدار آب تعرق‌یافته و گازکربنیک جذب‌شده تغییر می‌یابد. نتایج مطالعـات حـاکی از این است که درصد بـالایی از آب واردشـده در گیـاه از طریق تعـرق روزنه‌ای خـارج می‌شود. تعداد روزنه‌ها در واحد سطح و اندازه آن‌ها نـیز نقش مهمی در تبـادلات گـازي گیـاه دارنـد. مطالعـات انجام‌شـده نشـان داده است که با افـزایش سن بـرگ، هـدایت روزنه‌ای کـاهش می‌یابـد. ضـمن این که رابطه ضـعیفی بین فتوسـنتز و مـیزان هـدایت روزنه‌ای وجـود دارد. روزنه‌ها تحت تـأثیر عوامل محیطی ازجمله نور، میزان رطـوبت، غلظت دی‌اکسـید کـربن و وضـعیت آبی گیـاه قـرار می‌گیرند (Brownlee, 2001). تنش خشـکی با کـاهش پتانسـیل آب در گیـاه و محتـوي نسـبی آب در برگ، بسته‌شـدن روزنه‌ها را تحریک کـرده و به دنبال بسته‌شدن روزنه‌هـا، محتـواي دی‌اکسـید کربن داخل برگ تقلیل یافته و با تقویت انتقـال الکترون به اکسیژن باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد .(Reddy et al., 2004) این گونه‌های سـمی اکسـیژن بسـیار فعـال بـوده و متابولیسم طـــبیعی ســـلولی را از طریق اکسایش بر هم می‌زنند. مقـدار رطـوبت خـاک سـبب نوسـانات زیـادی در مـیزان فتوسـنتز گیاهـــان شـــده و از طریق کـــاهش هـــدایت روزنه‌ای بر عملکرد گیاهـان اثرگـذار می‌باشـد. دو دسـته از عوامل روزنه‌ای و غـیرروزنه‌ای بر میزان فتوسـنتز بـرگ مـؤثر می‌باشـند. عوامل روزنه‌ای منجر به کـــاهش هـــدایت روزنه‌ای می‌شـــوند و عوامل غـــیرروزنه‌ای از طریق کاهش آب بر فراینـدهای بیوشـیمیایی فـراوری کـــربن تأثیرگـــذار هســـتند (Ahmadi & Siosemardeh., 2005).

کـاهش مـیزان تعـرق در شـرایط تنش خشـکي، مي‌تواند به‌عنـوان مکانیسـمي جهت حفظ آب برگ و جلوگیري از هـدررفتن آن طي تعرق مطرح باشد (Karimi et al., 2015). اما از طـرف دیگر مي‌تواند به انتقـال غیرفعـال در آوند چوب و انتقال فعال در آوند آبکش صـدمه وارد کند، بدین‌صورت که با بسته‌شدن روزنه‌ها و محدودشدن تعرق، مکش حاصل از تعـرق که نقش در فرایند صـعود آب در آوند چـوب دارد، کـــاهش می‌یابد (Hosseinzadeh et al., 2016). با کـاهش اختلاف پتانسـیل فشـاري منفي ناشي از مکش تعرق و انتقـال غیرفعـال در آوند چوب، جذب آب و سـایر عناصر مغـذي و مورد نیاز گیاه به وسیله ریشه مختل شـده و درنتیجه منجر به تشـــدید اثـــرات منفي تنش خشکي در گیاه می‌شود (Amiri et al., 2015) با توجه به این که مکانیسم انتقـــال شـــیره پرورده در آوند آبکش ارتباط مستقیم با انتقـال غیرفعال دارد، بنابراین انتقال شیره پرورده نیز با اختلال روبه‌رو می‌شود (Hosseinzadeh et al., 2016). مطالعات مختلف نشان داده است که گیاهـاني که از مکانیسـم‌های کارآمـدتري براي کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها به‌منظور تنظیم تعـرق برخـوردار هسـتند، قـادر به تحمل بهـتر شـرایط تنش خشـکي خواهند بـود و با حفظ بیشتر آب درون بـرگي و اختلال کمـتر در انتقال فعـال و غیرفعـال، امکـان رشد و انجـام فراینـدهاي سـلولي را بهـتر فـراهم می‌نمایند (Karimi et al., 2015; Yordanov et al., 2003; Rahbarian et al., 2011).

ارقام متحمل به خشکی عدس با استفاده از ساز و کارهای کارآمد در تحمل به تنش رطوبتی نظیر فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و میزان بیشتر پرولین نسبت به ارقام حساس، کمتر تحت تأثیر اثرات منفی تنش رطوبتی قرار می‌گیرند (Ahmadpour *et al.,* 2016a). همان‌طور که اشاره شد، از مؤثرترین راهکارها در مقابله با تنش خشکي، بهبود روش‌های زراعي و دستیابي به ارقام متحمل براي کشت است. بنابراین بررسي اثرات تنش خشکي و شناسایي ارقام متحمل و حساس به تنش خشکي در گیاه عدس از اهمیت زیادي برخوردار است (Kafi *et al.,* 2005). به‌نژادگران و فیزیولوژیست‌هاي گیاهی بر این باور هستند که براي بازدهی بیشتر در اصلاح ارقام سازگار در مناطق با محدودیت منابع آب، شناخت صفات زراعی مؤثر بر عملکرد دانه در شرایط تنش از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود، بنابراین گزینش غیرمستقیم بر اساس صفات فیزیولوژي به‌عنوان مکملی براي گزینش ارقام با پتانسیل عملکرد بالا پیشنهاد شده است (Singh, 2000). از دیدگاه به‌نژادي، هر صفت فیزیولوژیک می‌بایست تنوع ژنتیکی وسیع، همبستگی ژنتیکی قوي با عملکرد دانه و وراثت‌پذیری بالاتر نسبت به عملکرد داشته (Jakson *et al.,* 1996) و ارزیابی آن سریع، آسان و ارزان باشد (Araus *et al.,* 2001).

با این توضیحات، افزایش آگاهی از صفات فیزیولوژیک مؤثر در شکل‌گیری عملکرد دانه می‌تواند معیاري مناسب جهت انتخاب این صفات براي اصلاح عملکرد دانه باشد. تحقیقات متعددي بر روي شاخص‌های فتوسنتزي در گیاهان زراعی با تعداد محدود ژنوتیپ در شرایط تنش اجرا شده است، اما با توجه به واکنش متفاوت شاخص‌های فتوسنتزي در شرایط تنش، آگاهی از تنوع ژنوتیپی شاخص‌های فتوسنتزي در شرایط کشت و روابط آن‌ها با عملکرد دانه حائز اهمیت است. با وجود مطالعات فراوان در مورد نقش صفات فیزیولوژیک در تحمل تنش خشکی در گیاهان زراعی، مطالعاتی از این دست بر روي عدس به‌ویژه در ایران محدود است و این تحقیق با هدف تعیین ژنوتیپ‌های دارای صفات مطلوب فیزیولوژیک و عملکردی و ارتباط این صفات با عملکرد و فتوسنتز در شرایط کشت دیم طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از 17 لاین منتخب عدس به همراه ارقام شاهد کیمیا، بیله‌سوار و سنا (جدول 1) در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه دیم خدابنده در طول 48 درجه و 49 دقیقه شرقي و عرض 36 درجه و 9دقیقه شمالي و با ارتفاع 1875 متر از سطح دریا در دو فصل زراعی 98-1397 و 99-1398 اجرا شد. آمار هواشناسی در جدول 2 نشان داده شده است. هر کرت آزمایشی شامل 4 خط 4 متری به فاصله خطوط 25 سانتی‌متر از یکدیگر بود. پس از شخم و آماده‌سازی زمین که شامل دیسک و لولر و ایجاد شیار در پاییز بود. با مساعدشدن شرایط اقلیمی منطقه، کشت در اواخر اسفندماه صورت گرفت. کود لازم پس از آزمایش خاک اعمال شد. در طول فصل رشد مراقبتهای معمول زراعی نظیر وجین علف‌های‌هرز و مبارزه با آفات به‌طور یکسان برای تمام کرت‌ها صورت گرفت. در نهایت علاوه بر صفات فیزیولوژیک، صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن100دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. صفات فیزیولوژیک مورد بررسی شامل میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ ($\mu mol/m^2\ s$)، هدایت روزنه‌ای ($mol/m^2\ s$)، میزان تعرق ($mmol/m^2\ s$)، تابش فعال فتوسنتزی ($\mu mol/m^2\ s$)، دمای برگ، غلظت داخلی دی‌اکسید کربن ($\mu mol/mol$)، کارآیی مصرف آب فتوسنتزي ($\mu mol\ CO_2/mol\ H_2O$) برابر با تقسیم میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی ($mmol\ CO_2/m^2\ s$) برابر با تقسیم فتوسنتز به غلظت دی‌اکسید کربن درون روزنه‌ای و کارآیی مصرف آب ($\mu mol\ CO_2/mol\ H_2O$) برابر با تقسیم میزان فتوسنتز بر تعرق حاصل محاسبه شد. میزان کمتر فتوسنتز و فرآوري دی‌اکسید کربن در حضور مقادیر بالاي دی‌اکسید کربن داخل روزنه‌ای به مفهوم پایین‌بودن میزان هدایت مزوفیلی و عدم توانایی سلول‌های مزوفیل در استفاده از دی‌اکسید کربن می‌باشد. کارآیی مصرف آب فتوسنتزي شاخصی است که میزان فتوسنتز به ازای هر واحد هدایت روزنه‌ای و تعرق را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری شاخص‌های فتوسنتزي طي یک نوبت براي هر ژنوتیپ در مرحله بعد از گلدهی در ساعات 10 تا 12 صبح و در شدت نور بیشتر از 1000 لوکس انجام شد. اندازه‌گیری‌های شاخص‌های فتوسنتزي توسط دستگاه اندازه‌گیری تبادل گازي قابل‌حمل مدل L.C.I ساخت کشور انگلستان انجام شد. صفات ارتفاع گیاه، وزن 100دانه، تعداد غلاف و عملکرد (کیلوگرم در هکتار) برای هر ژنوتیپ در هر کرت اندازه گیری شد.

تجزیه واریانس بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی توسط نرم‌افزار SAS انجام

گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. تجزیه همبستگی و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با متغیر تابع میزان فتوسنتز و عملکرد کل نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد (لازم به ذکر است که در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با متغیر فتوسنتز از صفاتی که از پارامتر فتوسنتز در محاسبه آن‌ها به کار رفته است استفاده نشد).

جدول1- ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش
Table 1. Genotypes used in the experiment

کد Code	ژنوتیپ Genotype	منشأ Source	کد Code	ژنوتیپ Genotype	منشأ Source
G1	FLIP2012-2L	ICARDA	**G11**	FLIP2012-207L	ICARDA
G2	FLIP2012-8L	ICARDA	**G12**	FLIP2012-245L	ICARDA
G3	FLIP2012-9L	ICARDA	**G13**	FLIP2012-262L	ICARDA
G4	FLIP2013-2L	ICARDA	**G14**	FLIP2012-13L	ICARDA
G5	FLIP2013-15L	ICARDA	**G15**	FLIP2012-24L	ICARDA
G6	FLIP2013-25L	ICARDA	**G16**	FLIP2012-45L	ICARDA
G7	FLIP2013-29L	ICARDA	**G17**	precoz	Argentina
G8	FLIP2014-021L	ICARDA	**G18**	Kimia	IRAN
G9	FLIP2012-3L	ICARDA	**G19**	Bilehsevar	IRAN
G10	FLIP2012-196L	ICARDA	**G20**	Sana(Check)	IRAN

جدول 2- آمار هواشناسي ايستگاه تحقيقات كشاورزي ديم خدابنده زنجان در دو سال زراعی
Table 2. Meteorological statistics of Zanjan Khodabandeh rainfed agricultural research station in two cropping years

ماه Month	سال زراعي 98 -97 Crop year 2018-2019			سال زراعی 99-98 Crop year 2019-2020		
	حداکثر دماي مطلق (سانتی‌گراد) Absolute maximum temperature (C °)	حداقل دماي مطلق (سانتی‌گراد) Absolute minimum temperature (C °)	بارندگي (میلی‌متر) Rainfall (mm)	حداکثر دماي مطلق (سانتی‌گراد) Absolute maximum temperature (C °)	حداقل دماي مطلق (سانتی‌گراد) Absolute minimum temperature (C °)	بارندگي (میلی‌متر) Rainfall (mm)
October	5	27	15.5	5.6	29.8	17.2
November	0.4	20.8	7.1	-10	16.8	6.4
December	-2.6	12.6	4.3	-8.2	10.6	1.9
January	-10.4	9.4	-0.7	-13.4	10.2	-1.2
February	-9.4	10.6	0.8	-20	10.4	-2.9
March	-7.2	14.8	2.6	-9.2	17.4	5.6
April	-5.4	19.8	6.8	-1.6	18	6.6
May	-4.2	24.2	12.2	3.2	24	12.8
June	7.6	31.2	20	8	32.6	21.4

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول 3 نشان داده شده است. تفاوت معنی‌داری در صفات تابش فعال فتوسنتزی، دمای برگ، کارآیی مصرف آب فتوسنتزی، هدایت مزوفیلی، کارآیی مصرف آب، وزن 100دانه و عملکرد بین دو سال اجرای آزمایش مشاهده شد که با توجه به پارامترهای اقلیمی متفاوت در دو سال اجرای آزمایش منطقی به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در صفات دمای برگ، میزان فتوسنتز، ارتفاع گیاه، وزن100دانه و عملکرد اختلاف

معنی‌داری را با یکدیگر نشان دادند. این نتایج حاکی از تنوع بالاي ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها ازلحاظ این صفات بود. از طرف دیگر اثرمتقابل ژنوتیپ × سال در تمامی صفات بررسی‌شده معنی‌دار نبود که نشان می‌دهد روند تغییرات این صفات بین ژنوتیپ‌ها در طول دو سال مورد بررسی یکسان بود.

بین دو سال مورد بررسی ازنظر دمای برگ تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که در سال اول دمای برگ 75/26 و در سال دوم 08/32 درجه بود. البته با توجه به دمای متفاوت دو روز اندازه‌گیری این اختلاف طبیعی می‌باشد. دامنه تغییرات دمایی برگ در بین ژنوتیپ‌ها بین 65/32 برای ژنوتیپ G2 تا 17/34 برای ژنوتیپ G18 متغیر بود. بااین‌حال ژنوتیپ G5 نیز با ژنوتیپ G2 اختلاف معنی‌دار نشان داده و دمای برگ کمتری را نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها نشان دادند (جدول 4). بیشترین میزان فتوسنتز مربوط به ژنوتیپ‌های G5 و G16 با میزان 357/11 و 672/10 و کمترین میزان مربوط به ژنوتیپ‌های G10 و G12 با میزان 957/6 و 248/7 بود (جدول4). تنش کم‌آبی عموماً با کاهش آب قابل‌دسترس در خاک رخ می‌دهد و در نهایت منجر به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان نسبت به شرایط کمبود آب می‌گردد (Johnson *et al.,* 2002; Ganjeali *et al.,* 2011). در این میان تغییرات فیزیولوژیک در برگ‌ها و سیستم فتوسنتزی گیاهان در شرایط تنش کمبود آب نقش مهمی در تحمل به تنش ایفا می‌کند (Singh *et al.,* 2005; Piper *et al.,* 2007). کاهش فتوسنتز خالص و CO_2 زیر روزنه در پژوهش‌های مختلف به‌عنوان مهم‌ترین اثر منفی ناشی از تنش کم‌آبی بیان شده است (Flexas & Medrano, 2008; Jaleel *et al.,* 2008). مطالعات مختلف نشان داده است که گیاهان با ساز و کارهای کارآمد در ارتباط با تنظیم عملکرد روزنه‌های برگی قادر به تحمل بهتر شرایط تنش کم‌آبی خواهند بود، به‌طوری‌که با حفظ بیشتر آب درون برگی و اختلال کمتر در انتقال فعال و غیرفعال، امکان رشد و انجام فرایندهای سلولی را بهتر فراهم می‌نمایند (Bender Pagter *et al.,* 2005; Ozenç, 2008; Guerfel *et al.,* 2008). از طرف دیگر میزان فتوسنتز خالص با زمان ثابت نمی‌باشد و با افزایش سن گیاه یک روند کاهشی نشان می‌دهد.

تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده از نظر ارتفاع گیاه مشاهده شد، به‌طوری‌که مقایسه میانگین‌ها نشان داد ژنوتیپ‌های G5 و G1 با ارتفاع 467/22 و 3/22 بلندترین و ژنوتیپ‌های G12 و G15 با ارتفاع 267/20 و 233/20 کوتاه‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. با توجه به معنی‌داربودن اثر ژنوتیپ و مقایسات میانگین بین ژنوتیپ‌ها (جداول 3 و 4) مشخص شد که ژنوتیپ‌های G5، G7 و G15 با وزن100دانه 822/6، 773/6 و 608/6 گرم بیشترین و ژنوتیپ‌های G16، G19 و G17 با وزن100دانه 84/3، 432/4 و 365/4 گرم کمترین وزن100دانه را دارا هستند (جدول4). در نهایت با توجه به معنی‌داربودن اثر ژنوتیپ و مقایسات میانگین بین ژنوتیپ‌ها (جداول 3 و 4) مشخص شد که ژنوتیپ‌های G5، G13 و G11 با عملکرد 89/493، 45/464 و 23/463 گرم بیشترین و ژنوتیپ‌های G17 و G13 با 13/278 و 92/298 گرم کمترین میزان عملکرد در هکتار را نشان دادند.

به نظر می‌رسد بالاتربودن عملکرد دانه در ژنوتیپ‌هایی مانند G5 و G13 به دلیل بالاتربودن وزن100دانه این ژنوتیپ‌ها باشد. ازآنجاکه، عملکرد دانه مطلوب وابستگی بسیاری به رشد رویشی بهینه و مقادیر اجزای عملکرد دانه دارد، هر دلیلی که سبب افت این عوامل گردد، در نهایت کاهش عملکرد دانه را در پی خواهد داشت. در شرایط خشکی از یک‌سو با کاهش اختلاف پتانسیل فشاری منفی ناشی از مکش تعرق و انتقال غیرفعال در آوند چوب، جذب آب و سایر عناصر مغذی و مورد نیاز گیاه به‌وسیله ریشه مختل شده (Zaltev & Yordanov, 2004; Hosseinzadeh *et al.,* 2016)؛ و از سوی دیگر با کاهش تولید ترکیبات فتوسنتزی روند انتقال شیره پرورده به ترتیب در آوند آبکش دچار اختلال شده و در نهایت تأثیر شدید بر خصوصیات رشدی و عملکردی گیاهان دارد (Ahmadpour *et al.,* 2016a).

باید دانست که با استفاده از تجزیه واریانس، انتخاب بر اساس کارآیی فنوتیپی جداگانه ژنوتیپ‌ها یا ژنوتیپ‌های منفرد با توجه به منشأ و نوع ژنوتیپ صورت می‌گیرد(Fikru *et al.,* 2014). اسیمیلاسیون خالص CO_2 از طریق فرایند فتوسنتز، اولین مرحله تولید بیوماس است (Anyia & Herzog, 2004) و سرعت آسیمیلاسیون خالص حساس‌ترین جزء ظرفیت بیوشیمیایی به تنش کم‌آبی است و می‌تواند نقطه کنترل کلیدي تحمل خشکی باشد (Kruger *et al.,* 1995).

محققان (Zou *et al.,* 2007) نشان دادند که تنش کم‌آبی در طول مدت پرشدن دانه میزان فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای را کاهش داده و پیري برگ را تسریع می‌کند. وجود تفاوت‌های معنی‌دار در این صفات نشان‌دهنده تنوع ژنوتیپ‌های مورد بررسی

ازنظر این صفات و امکان گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس آن‌ها می‌باشد، بدین معنا که این تنوع می‌تواند پایه کارهاي اصلاحی قرار گیرد.

در بررسی ژنوتیپ‌های عدس توسط محققان دیگر نیز اختلاف، بسیار معنی‌داري براي صفاتی مانند عملکرد بیولوژیک(Salehi *et al*., 2007; Ghahghaei *et al*., 2010; Fakheri & Mohammadpour, 2016; Pezeshkpour & Afkhar, 2019)، عملکرد دانه (Pezeshkpour & Afkhar, 2019; Salehi *et al*., 2007; Ghahghaei *et al*., 2010; Fikiru *et al*., 2010; Yazdi samadi *et al*., 2004; Zahedi *et al*., 2016)، وزن 100دانه (Fakheri & Mohammadpour, 2016; Fikiru *et al*., 2010; Salehi *et al*., 2007; Zahedi *et al*., 2016; Pezeshkpour & Afkhar, 2019) مشاهده شد که نتایج حاصل از این مطالعه را تائید می‌کنند.

همبستگی

میزان فتوسنتز با دمای برگ همبستگی منفی معنی‌دار و با صفات میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی، کارآیی مصرف آب و وزن100دانه همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد (جدول 5). کاهش هماهنگ فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای تحت شرایط محیطی، نشان‌دهنده محدودیت روزنه‌ای در فتوسنتز است (Austin, 1989). در مطالعات مختلف بر روي اثرات تنش خشکي بر گیاهان مشاهده شد که تنش خشکي منجر به کاهش فتوسنتز خالص می‌شود (Bahadoran *et al*., 2015; Flexas & Medrano, 2008). با توجه به همبستگی منفی این دو پارامتر نتایج این مطالعه نیز با نتایج فوق، مطابقت دارد. بسته‌شدن روزنه‌ها موجب توقف فتوسنتز می‌گردد که با وجود حفظ آب، به علت افزایش دماي برگ نامطلوب است. نرخ بالاتر فتوسنتز بدون وجود تغییرات قابل‌توجهی در عملکرد می‌تواند به دلیل اثرات چندژنی عملکرد در طی پرشدن دانه و یا به دلیل روش اندازه‌گیری میزان فتوسنتز (به‌عنوان‌مثال، در یک برگ و تنها براي یک دوره کوتاه از زمان) باشد. مطالعات متعدد بر روي حبوبات از قبیل نخود، لوبیا و عدس نشان داده است که تحت تأثیر تنش خشکي غلظت CO_2 درون برگي به واسطه بسته‌شدن، روزنه‌ها کاهش می‌یابد (Amiri *et al*., 2015; Parsa & Bagheri, 2008). بسته‌شدن روزنه‌ها در طي تنش خشکي گرچه به‌منظور کاهش هدررفت آب صورت مي گیرد، اما به علت ممانعت از ورود CO_2 می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبراني کاهش دهد (Johnson *et al*., 2002).

وزن100دانه با صفات دمای برگ همبستگی منفی معنی‌دار و با هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز، هدایت مزوفیلی و کارآیی مصرف آب همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد (جدول 5). خشکي و کمبود آب در خاك بیشترین تأثیر را در کاهش فتوسنتز و عملکرد گیاه در مراحل مختلف فنولوژيك (گیاهچه‌اي، گلدهي و غلافدهي) گیاه دارد (Parsa & Bagheri, 2008). از مهم‌ترین اثرات ابتدایي تنش خشکي بر گیاهان مي‌توان به کاهش ورود CO_2، بازدارندگي در انتقال الکترون، کاهش عملکرد فتوسیستمII و در نهایت کاهش تثبیت CO_2 و فتوسنتز خالص و در نهایت عملکرد اشاره کرد (Ahmadpour & Hosseinzadeh, 2017; Hosseinzadeh *et al*., 2014). گیاهان با بستن روزنه‌های برگی در جهت کاهش تعرق و حفظ آب به‌عنوان اولین مکانیسم به تنش کمبود آب پاسخ می‌دهند (Hamdi *et al.,* 1992; Johnson *et al.,* 2002; Hosseinzadeh *et al.,* 2016). در نهایت دمای برگ با صفات هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز، هدایت مزوفیلی، کارآیی مصرف آب، ارتفاع گیاه و وزن100دانه همبستگی منفی معنی‌دار نشان داد (جدول 5). تنش کمبود آب از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصول در اکثر نقاط دنیا و ازجمله کشور ایران به شمار می آید (Rahbarian *et al.,* 2011; Amiri *et al.,* 2015). تنش خشکي از متداول‌ترین تنش‌هاي محیطي است که تولیدات کشاورزي را از طریق اختلال در فرایندهاي فیزیولوژیکی و بیولوژيك با محدودیت روبه‌رو کرده و بازده عملکردي گیاه را کاهش داده است (Nasr Esfahani & Madakar Haghjou, 2015). ازجمله مهم‌ترین دلایل پایین‌بودن پتانسیل عملکرد عدس در ایران، می‌توان به عملکرد پایین ارقام رایج، اتخاذ روش‌های نامناسب تولید و وقوع تنش‌های زیستی و غیرزیستی طی فصل رشد این گیاه اشاره کرد (Ahmadpour *et al*., 2016b).

نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری‌شده بر میزان فتوسنتز به‌عنوان متغیر تابع (جدول6) نشان داد که دو صفت هدایت روزنه‌ای با تأثیر مثبت معنی‌دار و CO_2 زیر روزنه‌ای با تأثیر منفی معنی‌دار تبیین‌کننده تغییرات میزان فتوسنتز می باشند. همان‌طور که در تجزیه همبستگی مشاهده شد، عملکرد کل همبستگی معنی‌داری با هیچ‌کدام از صفات فیزیولوژیکی بررسی‌شده نشان نداد. نتیجه تجزیه رگرسیون این صفات بر روی عملکرد نیز معنی‌دار نبود و هیچ کدام از صفات وارد مدل رگرسیونی نشدند.

جدول 3- تجزیه واریانس صفات فتوسنتزي و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های عدس
Table 3. Analysis of variance of photosynthetic traits and grain yield in lentil genotypes

Source of variation	منابع تغییر	درجه آزادی df	تشعشع فعال فتوسنتزی Photosynthetically active radiation	دمای برگ Leaf temperature	CO_2 زیر روزنه ای Sub stomatal CO_2	تعرق Transpiration rate	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	فتوسنتز Photosynthesis	کارآیی مصرف آب فتوسنتزی Photosynthetic water use efficiency
Year	سال	1	364762.1**	448.15**	6750	4.485	0.000083	48.488	5296.05**
Error 1	خطای 1	4	38683.9	51.88	1938.77	2.156	0.0009	5.715	300.6
Genotype	ژنوتیپ	19	1344.4	1.158*	750.65	0.773	0.00103	7.012*	323.49
Genotype*Year	ژنوتیپ در سال	19	1224.7	0.388	875.14	0.626	0.0009	3.05	444.03
Error 2	خطای 2	76	1154.8	0.602	886.01	0.492	0.00076	3.887	412.49
CV	ضریب تغییرات		1.7	2.31	16.35	20.5	29.7	20.9	19.19

ادامه جدول3 در صفحه بعد

Source of variation	منابع تغییر	درجه آزادی df	هدایت مزوفیلی Mesophilic conductivity	کارآیی مصرف آب Water use efficiency	ارتفاع گیاه Plant height	وزن100دانه 100-Seed weight	تعداد غلاف Number of pods	عملکرد Yield
Year	سال	1	0.004**	12.77**	1.24	1.714**	18.4	3663485.2**
Error1	خطای 1	4	0.00024	1.34	2.649	0.0098	14.9	2324.8
Genotpe	ژنوتیپ	19	0.0003	0.263	2.77**	4.71**	1.418	17519.7**
Genotpe*Year	ژنوتیپ در سال	19	0.0001	0.128	1.27	0.052	1.06	7998.29
Error2	خطای 2	76	0.000198	0.164	0.769	0.018	1.13	6402.8
CV	ضریب تغییرات		26.3	14.4	4.18	2.46	11.59	20.4

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال 1 درصد و 5 درصد
** and *: Significant at 1% and 5% probability levels, respectively

جدول 4- مقایسه میانگین صفات مرتبط با فتوسنتز و عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف عدس
Table 4. Comparison of mean traits related to photosynthesis and yield in different lentil genotypes

ژنوتیپ Genotype	تشعشع فعال فتوسنتزی (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) Photosynthetic activated radiation (μmol/m² s)		دمای برگ (سانتی‌گراد) Leaf temperature (C °)		CO_2 زیر روزنه‌ای (میکرومول بر مول) Sub stumatal CO_2 (μmol/mol)		تعرق (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه) Transpiration rate (mmol/m² s)		هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه) Stomatal conductance (mol/m² s)		فتوسنتز (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه) Photosynthesis (μmol/m² s)		کارآیی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول CO_2 بر مول آب) Photosynthetic water use efficienc (μmol CO_2/mol H_2O)	
G1	1955.8	abcd	33.467	abcdef	172.67	ab	3.385	abc	0.092	abcd	9.985	abc	113.12	ab
G2	1927.5	d	32.65	f	172.33	ab	3.272	abcd	0.1	ab	9.893	abc	104.4	ab
G3	1948.5	bcd	33.267	bcdef	188.67	ab	3.39	abc	0.095	abcd	9.348	abcd	100.72	ab

G4	1951	abcd	33.183	ecdf	189	ab	3.607	ab	0.102	ab	10.177	abc	99.97	ab
G5	1957	abcd	32.7	ef	177.5	ab	3.665	ab	0.11	ab	11.357	a	105.36	ab
G6	1952	abcd	33.067	edf	186.83	ab	3.702	ab	0.105	ab	9.737	abc	102.98	ab
G7	1967.3	abc	33.55	abcde	176.17	ab	3.615	ab	0.098	abc	10.15	abc	104.73	ab
G8	1955.5	abcd	33.367	abcdef	174.83	ab	3.445	ab	0.093	abcd	9.993	abc	109.66	ab
G9	1976.3	abc	33.183	ecdf	164.83	b	3.505	ab	0.095	abcd	10.275	abc	116.87	a
G10	1954.2	abcd	33.6	abcd	177.3	ab	2.553	d	0.063	d	6.957	e	112.07	ab
G11	1989	a	33.383	abcdef	180.5	ab	3.185	abcd	0.083	abcd	8.81	bcde	106.5	ab
G12	1960.8	abcd	34.15	ab	185.67	ab	2.62	cd	0.067	cd	7.248	de	114.16	ab
G13	1948.2	bcd	33.783	abcd	199	ab	3.975	a	0.115	a	10.188	abc	91.47	b
G14	1973	abc	33.917	abcd	195.33	ab	3.595	ab	0.095	abcd	8.75	bcde	97.83	ab
G15	1985.5	ab	33.333	abcdef	171.83	ab	3.535	ab	0.1	ab	10.672	ab	110.08	ab
G16	1968.8	abc	34.067	abc	166.33	b	3.162	bcd	0.082	bcd	8.932	bcde	109.26	ab
G17	1973.3	abc	33.9	abcd	202.5	a	3.967	ab	0.105	ab	9.282	abcd	93.04	b
G18	1976.3	abc	34.167	a	195	ab	3.442	ab	0.085	abcd	8.157	cde	101.1	ab
G19	1945.8	cd	33.917	abcd	182.83	ab	3.502	ab	0.09	abcd	9.27	abcd	103.96	ab
G20	1967.3	abc	33.633	abcd	165	b	3.24	abcd	0.082	bcd	9.507	abcd	118.66	a

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه، در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌دار دارند.

Means with dissimilar letters are significantly different at the 5% level.

ادامه جدول 4- مقایسه میانگین صفات مرتبط با فتوسنتز و عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف عدس

Table 4. Comparison of mean traits related to photosynthesis and yield in different lentil genotypes

ژنوتیپ Genotype	هدایت مزوفیلی (میلی مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) Mesophilic conductivity ($mmol\ CO_2/m^2\ s$)		کارآیی مصرف آب (میکرومول CO_2 بر مول آب) Water use efficiency ($\mu mol\ CO_2/mol\ H_2O$)		ارتفاع گیاه (سانتی متر) Plant height (cm)		وزن100دانه (گرم) 100-Seed weight (gr)		تعداد غلاف Number of pods		عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (Kg/h)	
G1	0.0587	abcd	2.986	ab	22.3	ab	5.275	i	8.333	d	385.53	bcde
G2	0.0527	abcdef	3.023	a	21.9	abc	5.632	gh	8.933	abcd	350.4	cdef
G3	0.0492	bcdef	2.808	abcd	20.8	ed	5.722	g	8.233	d	298.92	ef
G4	0.0555	abcdef	2.825	abcd	21.067	cde	5.965	f	9.567	abc	383.25	bcde
G5	0.0665	a	3.106	a	22.467	a	6.773	a	10.1	a	464.45	ab
G6	0.0547	abcdef	2.844	abcd	20.7	ed	6.047	ef	9.167	abcd	367.66	cdef
G7	0.0582	abcd	2.909	abc	21.933	abc	6.822	a	9.3	abcd	428.89	abc
G8	0.0573	abcde	2.928	abc	20.6	ed	6.4	c	8.833	bcd	419.62	abcd
G9	0.0637	ab	3.124	a	20.633	ed	6.005	f	8.667	cd	336.1	def
G10	0.0417	ef	2.759	abcd	21.2	cde	4.707	j	9.567	abc	438.18	abc
G11	0.0523	abcdef	2.811	abcd	20.4	ed	4.765	j	10.033	ab	463.23	ab
G12	0.0395	f	2.752	abcd	20.267	e	4.653	j	9.267	abcd	394.87	bcd
G13	0.0527	abcdef	2.554	bcd	20.8	ed	6.185	de	8.967	abcd	493.89	a
G14	0.0492	bcdef	2.487	cd	20.5	ed	6.265	cd	9	abcd	377.97	bcde
G15	0.0615	abc	3.016	ab	20.233	e	6.608	b	8.967	abcd	408.04	abcd
G16	0.0547	abcdef	2.829	abcd	21.3	bcd	4.432	k	8.933	abcd	374.28	bcde
G17	0.047	cdef	2.442	d	20.8	ed	4.365	k	9.633	abc	278.13	f
G18	0.043	def	2.429	d	20.4	ed	4.77	j	9.167	abcd	382.57	bcde
G19	0.0515	abcdef	2.672	abcd	20.267	e	3.84	l	9.567	abc	360.63	cdef
G20	0.06	abc	3.004	ab	20.933	cde	5.477	h	9.2	abcd	430.35	abc

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه، در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌دار دارند.
Means with dissimilar letters are significantly different at the 5% level.

جدول 5- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های مطالعه شده

Table 5. Simple correlation coefficients between the studied traits in the studied genotypes

	PAR	LT	SS	TR	SC	P	PWUE	MC	WUE	PH	100SW	NP	Y
PAR	1												
LT	0.36	1											
SS	-0.22	0.21	1										
TR	0.03	0.18-	0.38	1									
SC	-0.19	-*0.47	0.34	*0.93*	1								
P	-0.1	-*0.64*	0.2-	*0.72*	*0.84*	1							
PWUE	0.18	0.1-	-*0.89*	-*0.65*	-*0.61*	0.12-	1						
MC	0.09	**0.6-	-*0.59*	*0.45	*0.54	*0.89*	0.27	1					
WUE	-0.12	-*0.72*	-*0.79*	0.17-	0.05	*0.53	**0.69	*0.74*	1				
PH	-0.38	-*0.49	0.23-	0.06	0.24	0.4	0.08	0.42	0.46*	1			
100SW	-0.02	-*0.57*	0.12-	0.42	*0.58*	*0.58*	0.06-	*0.62*	0.44*	0.29	1		
NP	0.19	0.02-	0.16	0.02-	0.05-	0.1-	0.16-	0.07-	0.15-	0.06	-0.19	1	
Y	0.1	0.05-	0.22-	0.13-	0.06-	0.08	0.15	0.21	0.17	0.16	0.32	0.38	1

**و*: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال 1 و 5 درصد
PAR (Photosynthetic activated radiation): تشعشع فعال فتوسنتزی؛ LT (Leaf temperature): دمای برگ؛ SS: CO2 (Sub stumatal CO_2) زیر روزنه‌ای؛ TR (Transpiration rate): تعرق؛ SC (Stomatal conductance): هدایت روزنه‌ای؛ P (Photosynthesis): فتوسنتز؛ PWUE (water use efficienc Photosynthetic): کارآیی مصرف آب فتوسنتزی؛ MC (Mesophilic conductivity): هدایت مزوفیلی؛ WUE (Water use efficiency): کارآیی مصرف آب؛ PH (Plant height): ارتفاع گیاه؛ (100SW (Seed weight-100: وزن100دانه، NP (Number of pods): تعداد غلاف؛ Y (Yield): عملکرد در هکتار
** and *: Significant at 1% and 5% probability levels, respectively

جدول 6- جدول تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفات فیزیولوژیک بر روی میزان فتوسنتز

Table 6. Stepwise regression analysis of physiological traits on photosynthesis

Source of variation	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS	R^2	R Adjust
Regression	رگرسیون	2	10.623**	0.98	0.95
Residual	باقیمانده	17	0.057		

صفات واردشده به مدل Traites entered into the model		ضرایب رگرسیون Regression coefficient
ضریب ثابت	Constsnt	11.121**±3.894
هدایت روزنه‌ای	Stomatal conductance	83.858**±4.414
CO_2 زیر روزنه‌ای	Sub stumatal CO_2	-0.052**±0.005

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال 1 درصد و 5 درصد
** and *: Significant at 1% and 5% probability levels, respectively

یکي از مهم‌ترین پاسخ‌هاي گیاهـان به تنش کمبود آب در خاک، تغییر ویژگی‌های فتوسنتزی است و با توجه به ارتباط مسـتقیم فتوسـنتز با عملکـرد و اجـزای عملکـرد گیـاه، بررسی این خصوصیات به‌منظور گـزینش ارقـام متحمل به تنش کم‌آبی ضروری است. نتایج نشـان داد که در این محصـول دو صـفت هـدایت روزنه‌ای و CO_2 زیر روزنه‌ای تبیین‌کننـده تغیـیرات مـیزان فتوسنتز می باشند. تنوع ژنـتیکی بـراي اصـلاح گیاهـان زراعی بسـیار مهم بـوده و تنـوع بـالاتر ژنوتیپ‌ها شـانس بیشـتري بـراي تولید انـواع گیاهــان مطلــوب را فــراهم می‌کنــد. در این تحقیق تنـوع ژنـتیکی مشاهده‌شـده در صـفات می تواند در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس بیـان فنوتیـپی کمک کند و می‌تـوان از آن‌ها در برنامه‌هاي اصلاحی به‌منظور بهبود صـفات مهم اقتصــادي اســتفاده کــرد. در بین ژنوتیپ‌هــای مــورد مطالعه نــیز ژنــوتیپ G5، ژنوتیــپی با خصوصیات برتر زراعی بوده که می‌تواند جهت بررسی امکــان معــرفی به عنــوان رقم جدید مورد ارزیابی بیشتری قرار گیرد.

منابع

1. Ahmadpour, R., and Hosseinzadeh, S.R. 2017. Change in growth and photosynthetic parameters of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to methanol foliar application and drought stress. International Journal of Agriculture and Biosciences 6(1): 7-12. (In Persian with English abstract).
2. Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R., and Armand, N. 2016a. Evaluation of methanol role in reducing the negative effects of water deficit stress in lentil (*Lens culinaris* Medik). Iranian Journal of Plant Process and Function 5: 1-13. (In Persian with English abstract).
3. Ahmadpour, A., Hosseinzadeh S.R., and Chashiani, S. 2016b. Study of root morpho-physiological and biochemical characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to moisture stress. Journal of Plant environmntal Physiology 11(43): 39-51. (In Persian with English abstract).
4. Ahmadi, A., and Siosemardeh, A. 2005. Investigation on physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: leaf photosynthetic rate, stomatal conductance, and nonstomatal Limitations. International Journal of Agriculture and Biology 7(5): 807-811. (In Persian with English abstract).
5. Amiri, H., Ismaili, A., and Hosseinzadeh, S.R. 2015. Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. karaj). Compost Science and Utilization 25(3): 152-165.
6. Anyia, A.O., and Herzog, H. 2004. Water use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. European Journal of Agronomy 20: 327-339.
7. Araus, J.L., Casadesus, J., and Bort, J. 2001. Recent tools for the screening of physiological traits determining yield. In: M.P. Reynolds, J.L. Ortiz- Monasterio and A. McNab (Eds.). Application of physiology in wheat breeding. Mexico. D.F.CIMMYT, 59-77.
8. Austin, R.B. 1989. Genetic variation in photosynthesis. Journal of Agricultural Science 112: 287-293.
9. Bahadoran, M., Abrishamchi, P., Ejtehadi, H., and Ghassemzadeh, F. 2015. Study on some physiological characteristics of *Salsola richteri* in drought condition in the two desert regions of the South Khorasan province. Iranian Journal of Plant Biology 7(24): 1-14.
10. Bender Ozenç, D. 2008. Growth and transpiration of tomato seedlings grown in Hazelnut Husk compost under waterdeficit stress. Compost Science and Utilization 16: 125-13.
11. Bishop, D.L., and Bugbee, B.G. 1998. Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi-dwarf wheat. Journal of Plant Physiology 153: 558-565.
12. Brownlee, C. 2001. The long and short of stomatal density signals. Trends in Plant Science 6: 441-442.
13. Fakheri, B.A., and Mohammadpour Vashvaei, R. 2016. Genetic variation and factor analysis of morphological and phonological traits for macrosperma and microsperma lentils lines. 94: 15-29. (In Persian with English abstract).

14.Fikiru, E., Tesfaye, K., and Bekele, E. 2010. A comparative study of morphological and molecular diversity in Ethiopian lentil (*Lens culinaris*) landraces. African Journal of Plant Science 4(7): 242-254.
15.Fikru, M., Mekbib, F., Kumar, S., Ahmed, S., and Sharma, T.R. 2014. Phenotypic variability and characteristics of Lentil (*Lens culinaris*) germplasm of Ethiopia by multivariate analysis. Journal of Agricultural and Crop Research 2(6): 104-116.
16.Flexas, J., and Medrano, H. 2008. Droughtinhibition of photosynthesis in C3-plants: Stomatal and non-stomatal limitation revisited. Annual of Botany 183: 183-189.
17.Ganjeali, A., Parsa, H., and Bagheri, A. 2011. Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. Agriculture Water Management 98: 1477-1484. (In Persian with English abstract).
18.Ghahghaei, M., Galavi, M., Ramroodi, M., and Bagheri, A. 2010. The comparison of yield and yield components of Lentil genotypes at low irrigation in Sistan region. Iranian Journal of Field Crop Research 8(3): 431-437. (In Persian with English abstract).
19.Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Cha, W., and Zarrouk, M. 2008. Impacts of water stress on gas exchange, water elations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. Scientia Horticulturae 1: 1-7.
20.Hamdi, A., Erskine, W., and Gates, P. 1992. Adaptation of lentil seed yield to varying moisture supply. Crop Science 32: 987-990.
21.Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., and Ismaili, A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica 54(1): 87-92.
22.Hosseinzadeh, S.R., Salimi, A., Ganjeali, A., and Ahmadpour, R. 2014. Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology 5: 115-132. (In Persian with English abstract).
23.Jackson, P., Robertson, M., Cooper, M., and Hammer, G. 1996. The role of physiological understanding in plant breeding; from a breeding perspective. Field Crops Research 49: 11-39.
24.Jaleel, C.A., Gopi, R., and Panneerselvam, R. 2008. Growth and photosynthetic pigments responses of two varieties of *Catharanthus roseus* to triadimefon treatment. Comptes Rendus Biology 331: 272-277.
25.Johnson, J.D., Tognetti, T., and Paris, P. 2002. Water relations and gas exchange in poplar and willow under water stress and elevated atmospheric CO_2. Physiology Plantarum 115: 93-100.
26.Kafi, M., Nezami, A., Hosaini, H., and Masomi, A. 2005. Physiological effects of drought stress by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research 3: 69-80. (In Persian with English abstract).
27.Karimi, S., Yadollahi, A., and Arzani, K. 2015. Gas-exchange response of almond genotypes to water stress. Photosynthetica 53: 29-34.
28.Kruger, G.H.J., Van Rensburg, L., and Mahtis, P. 1995. Carbon dioxide fixation: stomatal and non-stomatal limitations in drought stressed *Nicotina tobacum* L. cultivar. Xth International Photosynthesis Congress, Montpellier, France 5: 505-510.
29.Nasr Esfahani, M., and Madadkar Haghjou, M. 2015. Response of *Glycine max* to drought stress in relation to growth parameters and some key enzymes of carbon and nitrogen metabolism. Iranian Journal of Plant Biology 7(24): 77-89. (In Persian with English abstract).
30.Nouri Goghari, M., Dashti, H., Madah Hosseini S., and Dehghan, E. 2015. Evaluation of genetic diversity of Lentil germplasm using morphological traits in Bardsir. Iranian Journal of Field Crop Science 45(4): 541-551. (In Persian with English abstract).

31. Pagter, M., Bragato, C., and Brix, H. 2005. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. Aquatic Botany 81: 285-299.
32. Parsa, M., and Bagheri, A. 2008. Legumes. Publications Jahad University of Mashhad.
33. Pezeshkpour, P., and Afkar, S. 2019. Assessment of variability of lentil genotypes for agronomic traits using multivariate analyses. Journal of Crop Breeding 11(30): 142-151. (In Persian with English abstract).
34. Piper, F.I., Corcuera, L.J., Alberdi, M., and Lusk, C. 2007. Differential photosynthetic and survival responses to soil drought in two evergreen nothofagus species. Annals of Forest Science 64: 447-452.
35. Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R., and Najafi, F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Acta Biologica Cracoviensia-Series Botanica 53: 47-56.
36. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.
37. Richards, R.A., Condon, A.G., and Rebetzke, G.J. 2001. Traits to improve yield in dry environments. In: M.P. Reynolds, J.U. Ortiz-Monasterio and A. Mcnab (Eds.). Application of Physiology in Wheat Breeding Mexico, CIMMYT.
38. Salehi, M., Haghnazari, A., Shekari F., and Baleseni, H. 2007. Evaluation of relationship between different traits in Lentils (*Lens culinaris*). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 11(41): 205-216. (In Persian with English abstract).
39. Saman, S.M., Mozafari, J., Vaezi, S., Abbasi Moghaddam, A., and Mostafaie, H. 2012. Genetic diversity of pod and seed characteristics in lentil germplasm of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences 14(2): 171-182. (In Persian with English abstract).
40. Singh, B.D. 2000. Plant Breeding: Principles and Methods, Kalyani Publishers. 896pp.
41. Singh, K.B., and Saxena, M.C., 1993. Breeding for Stress Tolerance in Cool-Season Food Legumes. The Hague, The Netherlands: Martinus Nijhoff/Junk.
42. Singh, G., Sekhon, H.S., and Kolar, J.S. 2005. Pulses. Agrotech Publishing Academy, Udaipur, India.
43. Yazdi Samadi, B., Majnoun Hosseini, N., and Peighambari, S.A. 2004. Evaluation of cold hardiness in Lentil genotypes (*Lens culinaris*). Seed and Plant Improvement Journal 20(1): 23-37. (In Persian with English abstract).
44. Yordanov, I., Velikova, V., and Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgharestan Journal of Plant Physiology 2: 187-206.
45. Zahedi, F., Nabati, D., Mohammadi, M., and Karimzadeh, R.A. 2016. Path analysis to study Morpho-physiological traits, yield and traits related to yield of Lentil genotypes under rainfed condition. Journal of Plant Production 39(2): 71-80. (In Persian with English abstract).
46. Zlatev, Z.S., and Yordanov, I.T. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulgharestan Journal of Plant Physiology 30: 3-18.
47. Zou, G.H., Liu, H.Y., Mei, H.W., Liu, G.L., Yu, X.Q., Li, M.S., Wu, J.H., Chen, L., and Luo, L.J. 2007. Screening for drought resistance of rice recombinant inbred populations in the field. Journal of Integrative Plant Biology 49: 1508-1516.

Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: **https://ijpr.um.ac.ir**
Vol. 13, No. 2, December 2022, p. 91-103 (Original Research Article)




Investigation of photosynthetic and yield traits and the relationship between them in lentil genotypes under rainfed conditions

Shobeiri, Seyedeh Soodabeh; Asadi*, Ali Akbar; and Azimi, Mahmoud

Asistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREOO), Zanjan, Iran
(s.shobeiri@yahoo.com; asadipm@gmail.com; mahmoud.azimiir@gmail.com; respectively)

The Dates:
Received: 21 September 2021; **Revised:** 20 August 2022
Accepted: 27 August 2022; **Available Online:** 22 December 2022

How to cite this article:
Shobeiri, S.S., Asadi, A.A., and Azimi, M. 2022. Investigation of photosynthetic and yield traits and the relationship between them in lentil genotypes under rainfed conditions. Iranian Journal of Pulses Research 13(2): 91-103. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/ijpr.v13i2.2109-1013

Inroduction

Considering the development of cultivation and production of legumes and the importance of genetic studies in plant breeding, identifying the genetic potential of these plants is very important. Knowledge of genetic diversity and relationships between genotypes is important for understanding available genetic variability and the potential to use it in breeding programs. According to previous studies on lentils, it was found that improving the yield potential per unit area can be one of the important criteria for increasing the production of this plant. Increasing the yield per unit area is possible mainly by modifying and creating high-yielding cultivars, improving the characteristics and increasing the quantitative and qualitative potentials. Breeders and plant physiologists believe that in order to be more productive in improving compatible cultivars in areas with limited water resources, recognizing the agronomic traits affecting grain yield under stress conditions will be of great importance; Therefore, indirect selection based on physiological traits has been proposed as a complement to the selection of cultivars with high yield potential. Considering the different reactions of photosynthetic indices under stress conditions, it is important to know the genotypic diversity of photosynthetic indices under culture conditions and their relationship with grain yield. Despite numerous studies on the role of physiological traits in drought tolerance in crops, recent studies on lentils, especially in Iran, are limited. This study was designed and carried out with the aim of determining genotypes with desirable physiological and yield traits and the relationship between these traits and photosynthesis under rainfed conditions.

Materials & Methods

In order to study the photosynthetic and yield parameters of lentil plant in rainfed conditions, selected advanced lentil lines with control cultivars were studied in a randomized complete block design with 3 replications in Khodabandeh dryland research station in Zanjan Province in two cropping seasons 2018 to 2020. Physiological traits included photosynthesis per unit leaf area, stomatal conductance, transpiration rate, photosynthetic activated radiation, sub stumatal CO_2, leaf temperature, photosynthetic water use efficiency, mesophilic conductivity and water

[1*] **Corresponding Author:** asadipm@gmail.com

use efficiency. Plant height, 100-seed weight, number of pods and yield (kg/ha) were also measured for each genotype in each plot. Analysis of variance and comparison of means were performed using Duncan's test at 5% probability level. Finally, correlation analysis and stepwise regression analysis were performed with the variables of photosynthesis rate and total yield.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 13, No. 2, December 2022, p. 91-103 (Original Research Article)

Results & Discussion

The results showed that there was a significant difference in photosynthetic active radiation, leaf temperature, photosynthetic water use efficiency, mesophilic conductivity, water use efficiency, 100-grain weight and yield between two years of experiment. The studied genotypes showed significant differences in leaf temperature, photosynthesis, plant height, 100-seed weight and yield, which indicated the high genetic diversity of these genotypes in terms of these traits. The interaction effect of genotype per year was not significant in all studied traits, which shows that the trend of changes in these traits between genotypes during the two years was the same. Among the studied genotypes, G5 genotype is a genotype with superior agronomic characteristics that can be recommended as a cultivar with high yield potential. Photosynthesis rate showed a significant negative correlation with leaf temperature and significant positive correlation with transpiration rate, stomatal conductance, mesophilic conductivity, water use efficiency and 100-grain weight. 100-seed weight showed a significant negative correlation with leaf temperature and a significant positive correlation with stomatal conductance, photosynthesis, mesophilic conductivity and water use efficiency. These results show that drought and lack of water in the soil have the greatest effect on reducing photosynthesis and plant yield at different phenological stages (seedling, flowering and podding) of the plant. Finally, regression analysis showed that stomatal conductance and sub stumatal CO_2 explained the changes in photosynthesis.

Conclusion

The results showed that for lentils, two traits of stomatal conductance and sub stumatal CO_2 concentration may explain the changes in photosynthesis. Genetic diversity is very important for crop breeding and higher diversity of genotypes provides a better chance of producing a variety of desirable cultivars. The observed genetic diversity in traits can help select superior genotypes based on phenotypic expression and can be used in breeding programs to improve economically important traits. Finally, among the studied genotypes, G5 genotype was found to be a genotype with superior agronomic characteristics that could be recommended to the farmers to improve lentil yield.

Keywords: Mesophilic conduction، Photosynthesis، Regression analysis، Stomatal conductance، Transpiration